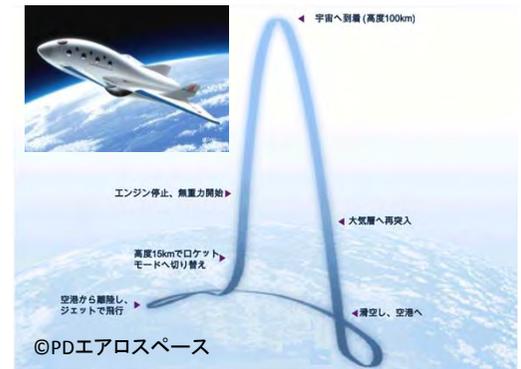


# 我が国の将来宇宙輸送システムに関する動向(民間)

安価な小型ロケット開発や再使用型のサブオービタル飛行用スペースプレーンの実現を目指した研究開発が実施されている。

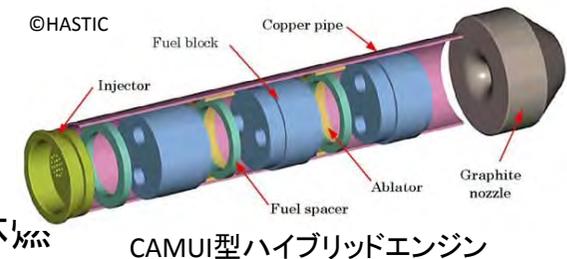
## ○サブオービタル飛行用スペースプレーンに関する取組

- 完全再使用型弾道宇宙往還機(PDエアロスペース株式会社)
- パルス燃焼技術によるジェット燃焼モード/ロケット燃焼モード切り替えエンジンを搭載し、水平に離陸して高度100kmまで到達し、帰還するスペースプレーンの開発を目指す。
- サブオービタル飛行による宇宙旅行、観測・実験等と、多目的地球観測を想定



## ○小型ロケット開発に関する取組

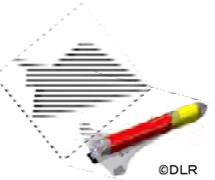
- CAMUIロケット(HASTIC[北海道宇宙科学技術創生センター])
- 固液ハイブリッド燃焼を利用したエンジンにより、低価格(従来の小型固体燃料ロケットに比べて打上げ価格10分の1)、安全、低環境負荷の小型ロケット開発を目指す。
- 観測、微小重力実験、衛星部品の動作確認などに利用
- 小型液体燃料ロケット(SNS株式会社)
- 独自開発の小型液体燃料ロケットエンジンにより、超小型衛星軌道投入用ロケットULSLV(Ultra Light Space Launch Vehicle)の開発を目指す。
- 2013年に推力500kgf級ロケットの打ち上げに成功(到達高度6535m)



500kgf級ロケットすずかぜの打ち上げ

# 将来宇宙輸送システムの性能諸元

各国において使用目的に応じたシステム構想が検討され、実用化に向けた研究が進められている。

	Launcher One (米国)	Dream Chaser (米国)	Reusable Falcon (米国)	Lynx Mk III (米国)	SKYLON (英国)	Spece Liner (欧州)	SOAR (欧州)	JAXAリファレンスシステム (日本)
								
運用開始	2016年～	2016年～	不明	2014年～	2022年～	2050年頃	2018年～	2040年頃
方式	3段式 (Spaceship Two母機 +2段式使い切り)	TSTO 1段: Atlas V 2段: 再使用オービタ	TSTO	TSTO	SSTO	TSTO (二地点間サブ オービタル機)	3段式 1段: A300 2段: 再使用ブースタ 3段: 固体使い切り	TSTO
打上能力	225kg	乗員1名+乗客6名	不明	650kg	12トン	乗客50名	250kg	乗員8名
離陸方式	水平 +空中発射	垂直	垂直	水平	水平	垂直	水平	垂直
着陸方式	水平 (母機のみ)	垂直	垂直	水平 (オービタ・ ブースタ)	水平	水平 (オービタ・ ブースタ)	水平 (1段・2段)	水平
推進薬	LOX/ケロシン (使い切りロケット)	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> /HTPD (再使用オービタ)	LOX/RP-1	LOX/ケロシン	空気/LH2 LOX/LH2	LOX/LH2	不明	LOX/エタノール
エンジン	不明	ハイブリッド エンジン	Merlin 1D エンジン	XR-5K18	RBCC 2機 (SABRE)	二段燃焼 サイクル	不明	ロケット (サイクルは検討中)
推力	不明	不明	1段: 70.4トン×9 2段: 70.4トン×1	1.3トン×4	138トン(空気) 184トン(LOX)	1段: 225トン×9 2段: 231トン×2	不明	1段: 250トン×5 2段: 24トン×3

TSTO: 二段式宇宙輸送機  
SSTO: 単段式宇宙輸送機

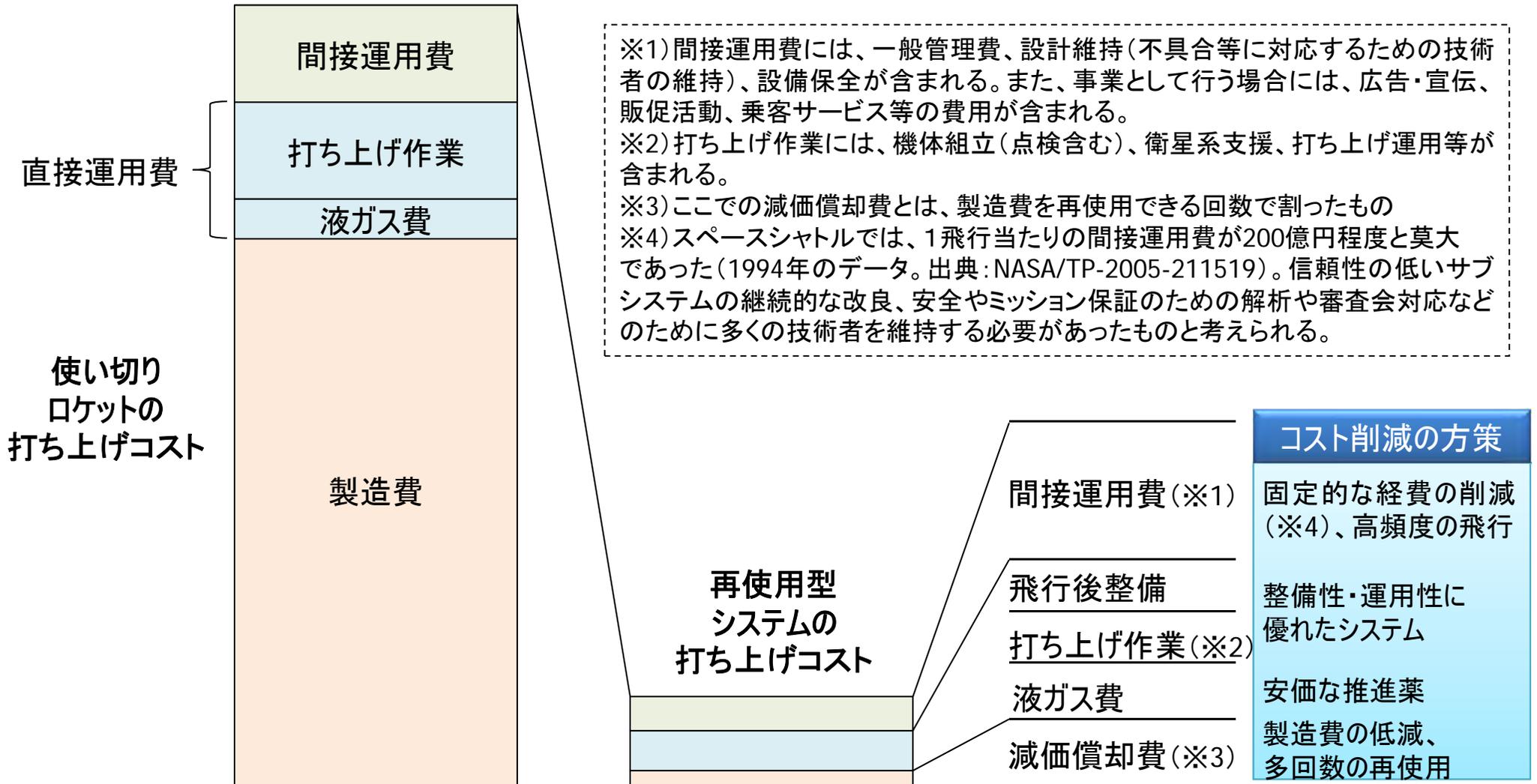
LOX: 液体酸素  
N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: 四酸化二窒素

HTPD: 末端ヒドロキシル基ポ  
リブタジエン系

RP-1: ケロシン系燃料の一種  
LH2: 液体水素

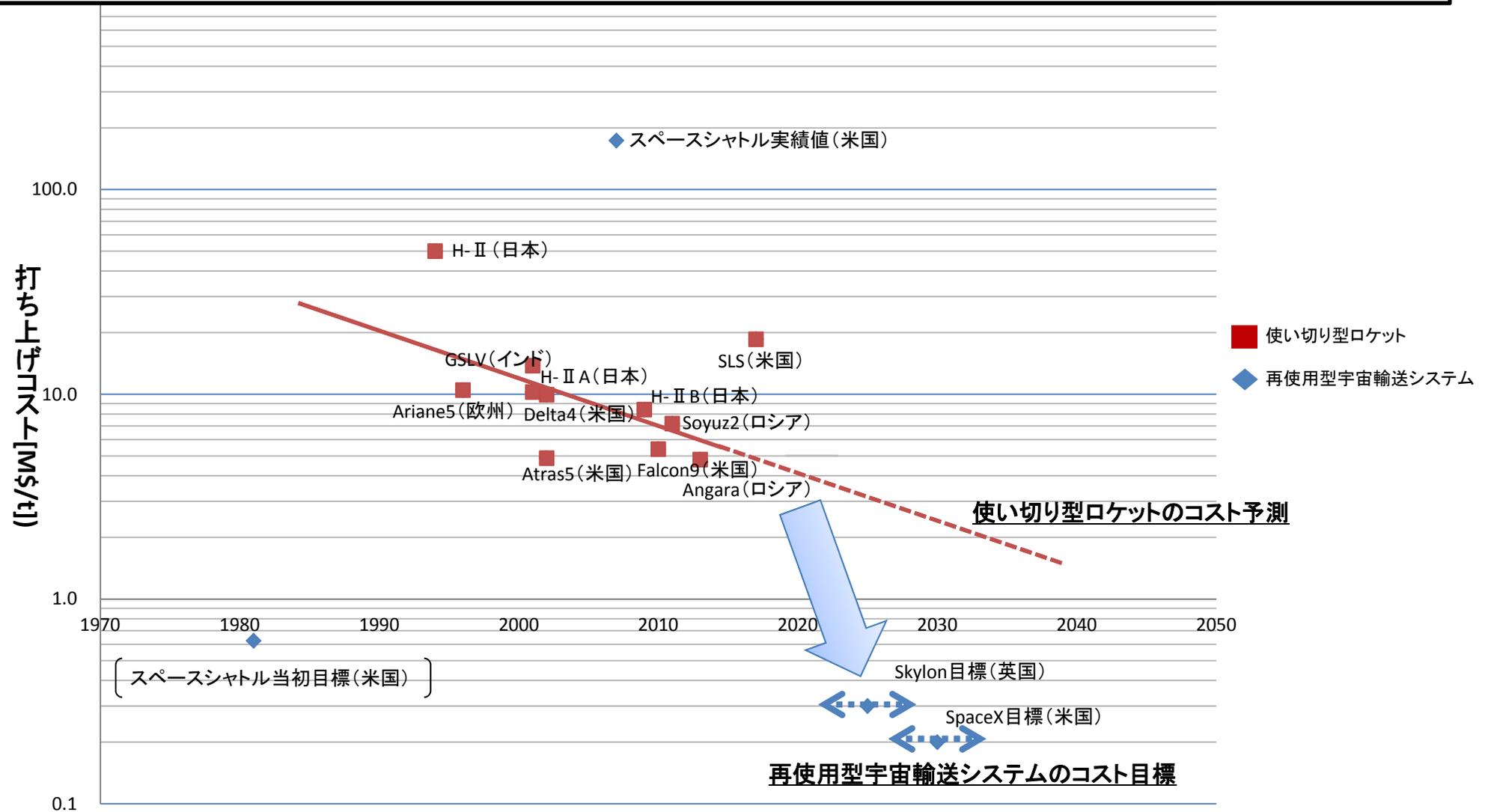
# 使い切り型と再使用型宇宙輸送システムのコスト構造比較

再使用型システムでは、多数回の再使用により、1回当たり製造費の負担(減価償却費)が減る。間接運用費を減らすためには、信頼性の高いシステムとするとともに、再使用型に特有の飛行後整備を効率的に行い、高頻度の飛行を行えるようにすることが重要。



# 宇宙輸送システムのコスト予測

使い切り型ロケットは今後も打ち上げコスト低減が見込まれるが、現在から数分の一のコスト低減程度。一方、再使用型宇宙輸送システムは現在から数十分の一のコスト低減が目標として掲げられている。



※大型の宇宙輸送システムについて記載

[年]

宇宙輸送システム部会のヒアリング資料等を基に宇宙戦略室で作成

# 輸送コストと年間総輸送需要の関係

現在から数分の一の宇宙輸送コストの低減では宇宙輸送需要の大きな拡大は見込まれないが、数十分の一のコストの低減が実現されれば、宇宙輸送需要は飛躍的に拡大すると想定される。

## NASA Commercial Space Transportation Study(CSTS)の分析

- 従来の延長の利用
  - 通信衛星
  - 宇宙環境を利用した製造
  - リモートセンシング
  - 政府系ミッション
- まだ実現していない利用／新しい利用
  - 付加価値のある輸送サービス(人と物資の普遍的な輸送)
  - エンターテインメント
  - スペースデブリマネジメント
  - 宇宙医療施設
  - 多目的ビジネスパーク
  - エネルギー(宇宙太陽光発電)
  - 資源探査(月LOX、ヘリウム-3)

- 従来の延長の利用では、宇宙輸送コストが現状の1/10で、需要が10倍弱増えるという結果。需要予測は漸増。
- 新しい市場においては、宇宙輸送コストが現状の1/10になっても需要を拡大することはできないが、1/100になると大規模な需要が見込まれる。

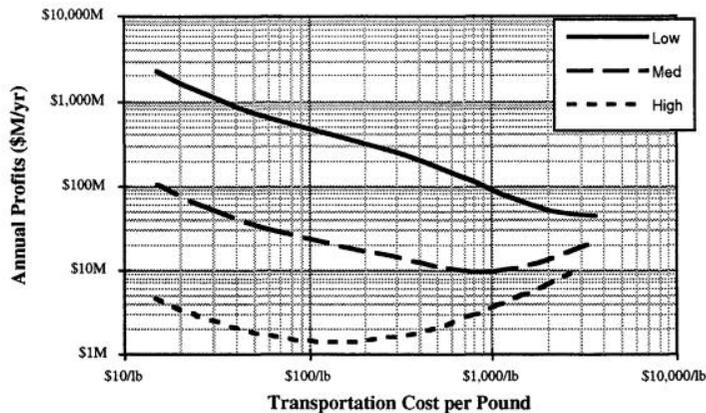
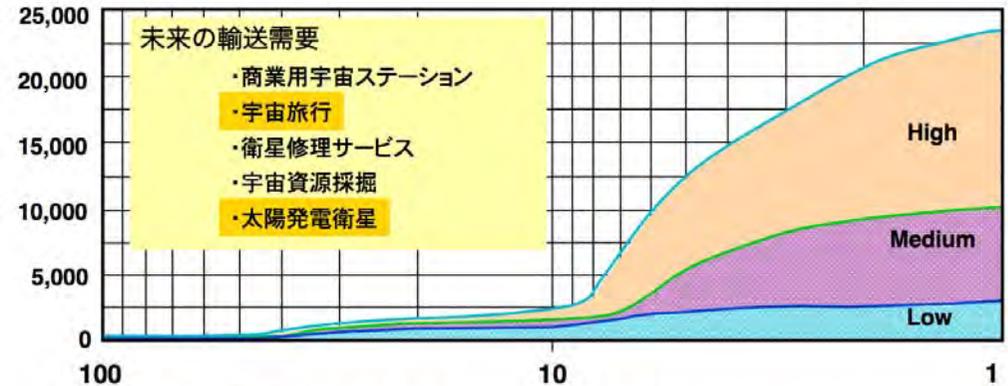


Figure 3.5.6.6-15. Transport Profits as a Function of Transport Cost

Commercial Space Transportation Study(CSTS) NASA 1997

111264-123

地球低軌道への年間総投入量(t)

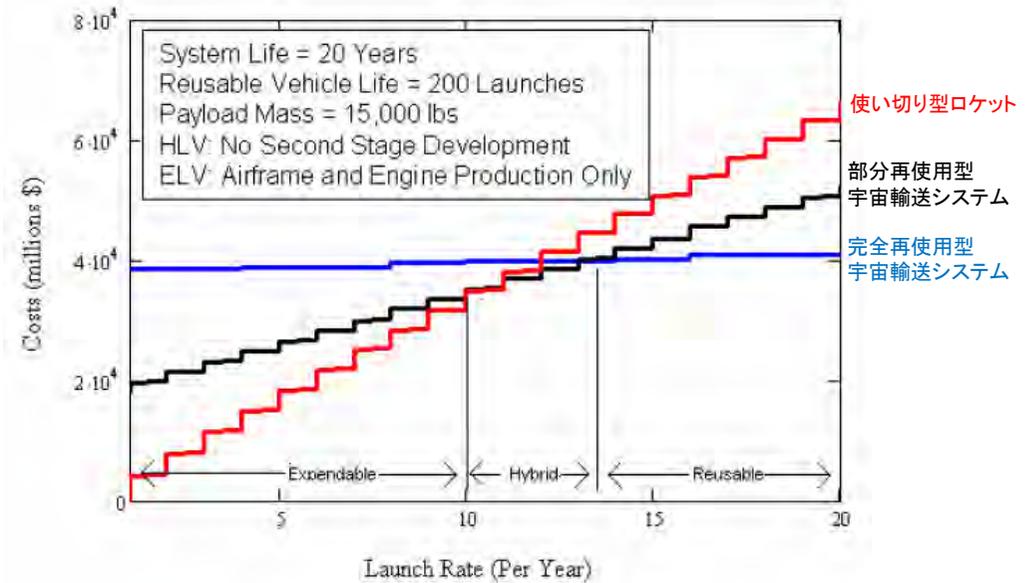
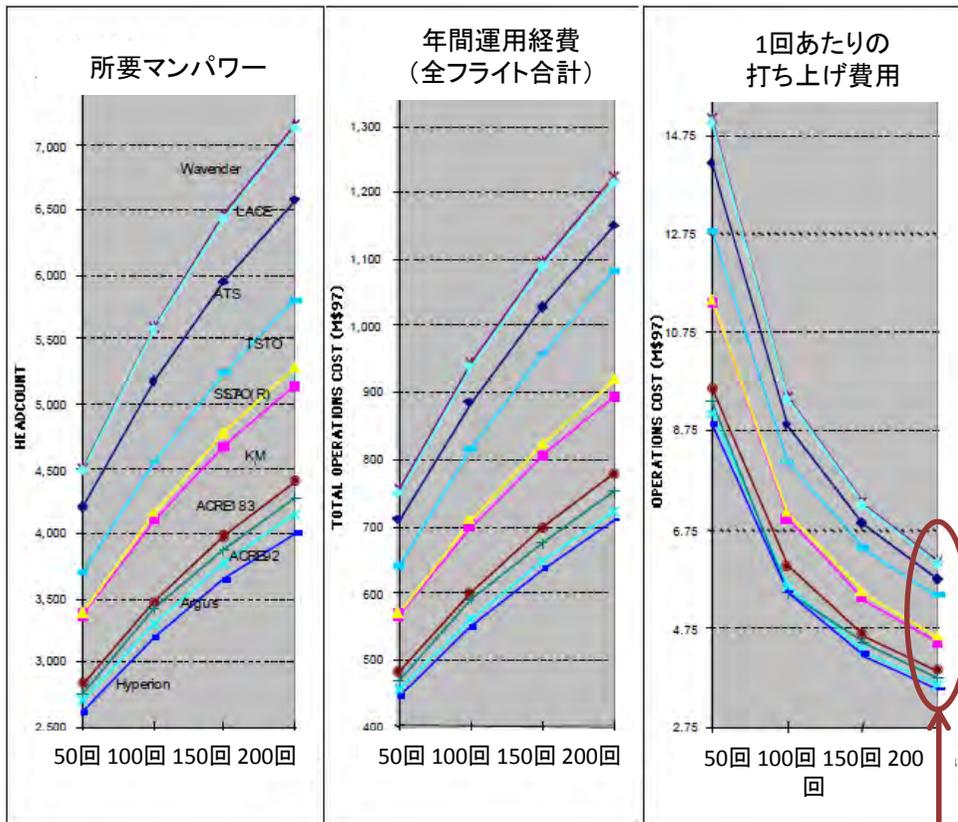


地球低軌道への輸送コスト (万円 / kg)

NASA CSTSを基に宇宙輸送システム長期ビジョンワーキンググループ作成

# 再使用運用による宇宙輸送コストの低下

NASAや米空軍の試算によると、年間十数回以上の打ち上げを行う場合には再使用型宇宙輸送システムの方が使い切り型ロケットよりも低コストとなり、SSPS等の建造に必要な年間数百回の打ち上げを行う場合には、1回あたりの打ち上げコストが数億円(使い切り型ロケットに比べて数十分の一)まで低下する。



James Michael Snead, *Cost Estimates of Near-Term, Fully-Reusable Space Access Systems*. (American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2006)

Highly Reusable Space Transportation Study  
 Integration Task Force, *An Operational Assessment of Concepts and Technologies for Highly Reusable Space Transportation*. (NASA, 1998)

年間200回の再使用を行うと、再使用型宇宙輸送システムの打ち上げコストが300万~600万ドル台まで低下することが見込まれる

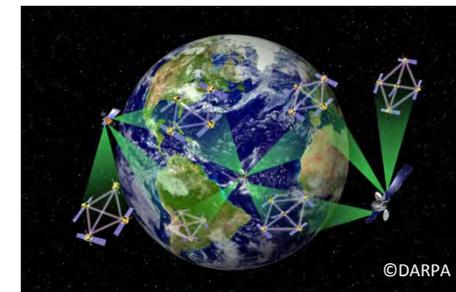
# 現在の延長上にある宇宙利用の姿(1/3)

中大型衛星の利用や宇宙探査などの従来の延長上にある宇宙利用として、小型・超小型衛星のコンステレーション運用や再使用型ロケットによる観測・実験の実現が想定される。

- 再使用型ロケットによる観測・実験
  - 従来は使い切りロケットによって行われていた宇宙観測や微小重力実験を再使用ロケットで実施
  - 観測・実験機会の増大や、これまでのロケットでは不可能だった実験(より柔軟な軌道、姿勢、速度等)を実現
- 小型・超小型衛星のコンステレーション運用
  - 災害監視・安全保障用途で、光学センサーや合成開口レーダーを搭載した小型衛星のコンステレーション運用を行う計画が各国政府で進められており、2010年代中にも実現の見込み
  - 米Skybox等の民間企業も超小型衛星を活用した安価な衛星情報サービスを展開
  - 大規模なコンステレーション化により、大型衛星に匹敵する能力を持たせる構想(例: DARPAのシステムF6)もある



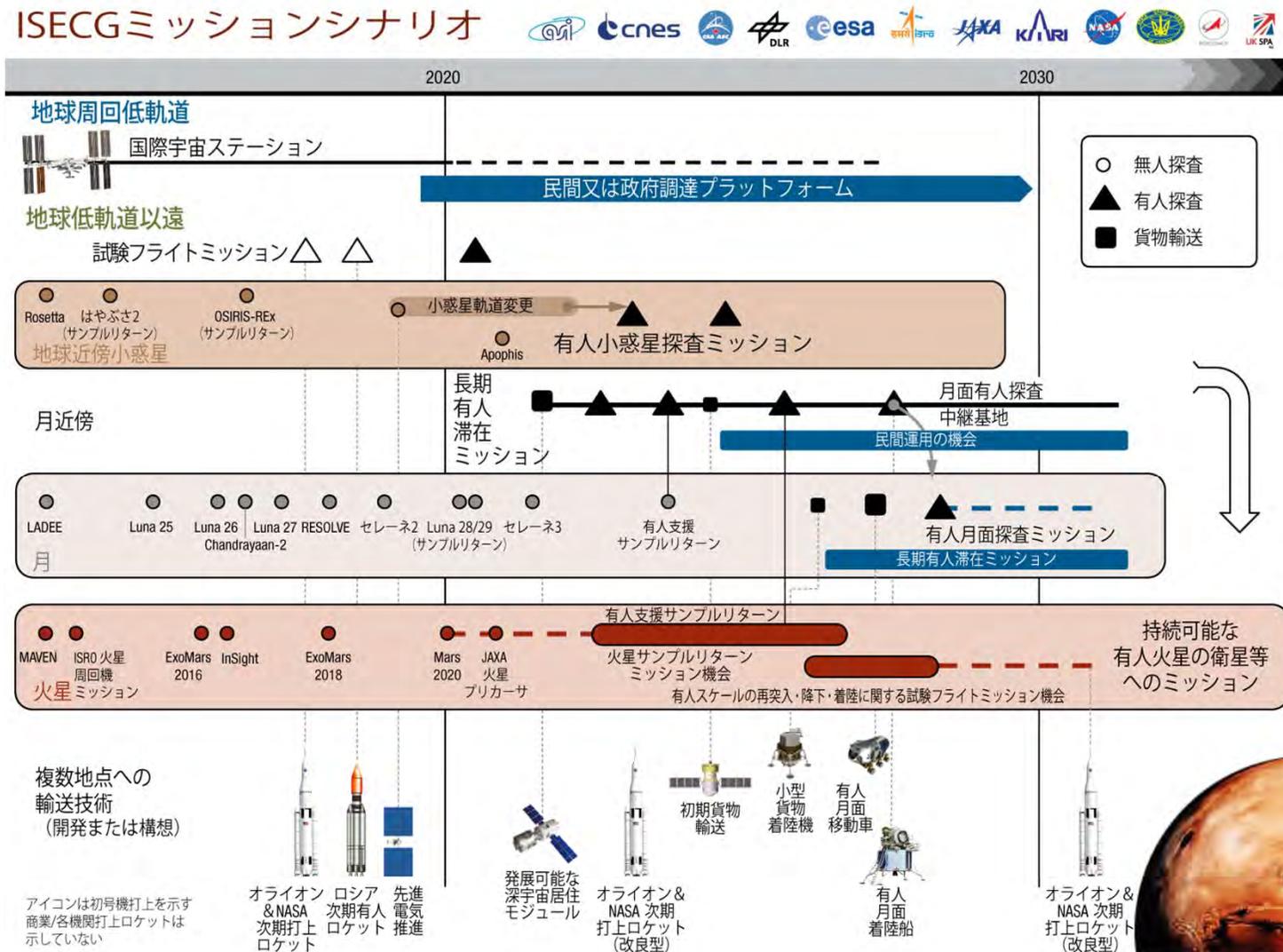
JAXAで実験されている再使用観測ロケット



システムF6の概念図

# 現在の延長上にある宇宙利用の姿(2/3)

国際協働による有人宇宙探査に向けて技術検討を行うメカニズムである国際宇宙探査協働グループ(ISECG)は、2020年代に月のラグランジエ点ステーションを設置することや、2030年代以降に月面や火星に基地を設置することなどを2013年のGlobal Exploration Roadmap(GER)第2版に盛り込んでいる。



# 現在の延長上にある宇宙利用の姿(3/3)～各国の宇宙探査計画～

米国及び中国は、月と火星への有人探査を目指している。ロシアは火星への有人探査計画は無いが、月への有人探査に関心を持つ。欧州は月への有人探査計画は無いが、火星有人探査には関心あり。

	ISS・低軌道	月周辺・月	小惑星	火星
米国	探査への準備として位置付けており、 <u>2020年以降も運用継続する方向で検討中</u>	<u>2021年頃に有人探査を実施予定であるが、月周辺に留まるのか、月着陸するかは定かでない。尚、将来の有人月探査向け準備として、無人探査は継続実施</u>	小惑星への探査計画はあるが、技術的状况に鑑み、小惑星を月周辺に持って来て探査する計画	<u>2030年代半ばに火星軌道、その後、火星着陸を目指す</u>
ロシア	探査への準備としてISSを位置付け。 <u>ISSを拡張する計画があり、積極的に延長する方向で検討中</u>	有人月探査に強い関心を持ち、 <u>2030年代に有人月探査を実施予定。また、有人月面基地構想を持つ</u>	無し	<u>有人探査計画は無く、無人探査を実施</u>
ESA	探査の準備として位置付け。但し、コストが高額であるため、ISSの2020年以降の延長については検討中	<u>有人探査計画は無く、無人探査を実施</u> (ESA独自の計画は予算化されず、ロシアのプログラムに参画予定)	<u>有人探査計画は無く、無人探査を実施</u>	<u>有人探査を実施する予定であるが、ロボティクスを主張するフランスと有人を主張するドイツとの間で対立が続いている。</u>
中国	<u>独自の宇宙ステーションを2020年迄に完成予定</u>	<u>2025-2030年頃に有人探査を計画。また、時期は未定であるが、有人月面基地構想を持つとの報道もあり。</u>	無し	<u>2050年に有人火星探査を実現する目標を持つ</u>
インド	有人輸送機を計画中	無人探査を実施	無人探査を実施予定	無人探査を実施中